

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS
CAMPUS AVANÇADO ARCOS
BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Guilherme Bezerra de Faria

**ESTUDO DA MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE NO SETOR DE
EXTRAÇÃO DE USINAS DE CANA-DE-AÇÚCAR**

Arcos
2021

GUILHERME BEZERRA DE FARIA

**ESTUDO DA MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE NO SETOR DE
EXTRAÇÃO DE USINAS DE CANA-DE-AÇÚCAR**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso Bacharelado em Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - *Campus* Avançado Arcos como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharelado em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Me. Maurício Lourenço Jorge

Arcos
2021

Faria, Guilherme Bezerra de

F224e

Estudo da manutenção centrada em confiabilidade no setor de extração de usinas de cana-de-açúcar [manuscrito]. / Guilherme Bezerra de Faria. - 2021.

40 f. : il.

Orientadores: Prof. Maurício Lourenço Jorge.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Instituto Federal de Minas Gerais, *Campus Arcos*.

1. Engenharia industrial. – Monografia. 2. Usinas de açúcar – Manutenção. – Monografia. 3. Manutenção. – Monografia. 4. Controle de processo. – Monografia. I. Jorge, Maurício Lourenço. II. Instituto Federal de Minas Gerais, *Campus Arcos*, Bacharelado em Engenharia Mecânica. III. Título.

CDU 621.7-7



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS
Campus Avançado Arcos
Diretoria de Ensino
Docentes Área Técnica
Av. Juscelino Kubitschek, 485 - Bairro Brasília - CEP 35588000 - Arcos - MG
3733515173 - www.ifmg.edu.br

**Ata de Defesa de TCC do aluno Guilherme
Bezerra de Faria, realizada em
26/11/2021**

Aos vinte e seis dias do mês de novembro de dois mil e vinte e um, às dez horas, se reuniu virtualmente a banca composta por Prof. Maurício Lourenço Jorge (orientador), Prof. Luiz Augusto Ferreira de Campos Viana e Prof. Márcio Rezende Santos, para avaliar o trabalho intitulado "Estudo da Manutenção Centrada em Confiabilidade no Setor de Extração de Usinas de Cana-de-Açúcar", apresentado pelo aluno Guilherme Bezerra de Faria, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Mecânico. Após apresentação e arguição, emitiu-se o parecer "aprovado", sendo a verificação das modificações sugeridas de responsabilidade do orientador. Para fins de registro na disciplina Trabalho Acadêmico Integrador X, a banca avaliadora emite, em consenso, o conceito final 90. Nada mais havendo a tratar, a defesa foi encerrada às onze horas e dezoito minutos e eu, Maurício Lourenço Jorge, lavrei a presente ata que, após lida e aprovada, foi assinada por todos os avaliadores.

Arcos, 26 de novembro de 2021.



Documento assinado eletronicamente por **Mauricio Lourenco Jorge, Professor**, em 26/11/2021, às 11:19, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Luiz Augusto Ferreira de Campos Viana, Professor**, em 26/11/2021, às 11:25, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Márcio Rezende Santos, Professor**, em 26/11/2021, às 11:37, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadocs> informando o código verificador **1020347** e o código CRC **5440178B**.

23808.000878/2021-98

1020347v1

Dedico este trabalho a àqueles que,
mesmo diante das dificuldades, sem-
pre seguiram em frente.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos servidores e colegas do IFMG *campus* Arcos que fizeram parte desta caminhada. A toda minha família que de alguma forma contribuiu com meus estudos. Agradeço especialmente ao meu pai que sempre acreditou na minha capacidade de me torna Engenheiro Mecânico e me ajudou durante todo o curso.

"Não se gerencia o que não se mede,
não se mede o que não se define,
não se define o que não se entende,
e não há sucesso no que não se
gerencia."

Willian E. Deming

RESUMO

A Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) é uma metodologia utilizada para definir a melhor estratégia de manutenção. Considerada como uma excelente estratégia para gestão de ativos de uma empresa, quando aplicada, busca aumentar a confiabilidade e disponibilidade dos ativos. A confiabilidade é baseada na probabilidade de um ativo desempenhar a sua função em um determinado período de tempo. O presente trabalho utilizou informações reais de intervenções por falhas de uma usina processadora de cana-de-açúcar para estudar a confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos do setor de extração de caldo, que é a primeira etapa da linha de produção, podendo interromper todo o processo em caso de falhas. O estudo teve como foco analisar as ocorrências de manutenção e gerar os indicadores adequados para melhor acompanhamento do desempenho dos ativos, tais como quantidade de falhas, tempo médio entre falhas (MTBF), tempo médio de reparo (MTTR), confiabilidade e disponibilidade. Assim, foi possível estimar o montante financeiro correspondente às perdas por intervenções de manutenção, de aproximadamente 282 mil reais em um dia (24 horas) do mês de junho que apresentou menor volume de moagem devido as falhas. A decisão de prorrogar a safra por mais 1 mês deveria ser pensada com muito cuidado, já que haveria probabilidade considerável de haver falhas no 5º e 6º ternos, que apresentaram os menores valores de confiabilidade. O 1º terno e o Desfibrador também apresentaram baixos valores de confiabilidade no mesmo período, reforçando a importância da decisão quanto a estender a safra.

Palavras-chaves: Manutenção. Confiabilidade. Usinas de cana-de-açúcar. Extração de caldo.

ABSTRACT

Reliability Centered Maintenance (RCM) is a methodology used to define the best maintenance strategy. Considered an excellent strategy for managing a company's assets, when applied, it seeks to increase the reliability and availability of assets. Reliability is based on the probability that an asset will perform its function in a given period of time. The present work used real information from interventions due to failures of a sugarcane processing plant to study the reliability and availability of equipment in the juice extraction sector, which is the first stage of the production line and can interrupt the entire process. in case of failures. The study focused on analyzing maintenance occurrences and generating the appropriate indicators to better monitor the performance of assets, such as number of failures, mean time between failures (MTBF), mean time to repair (MTTR), reliability and availability. Thus, it was possible to estimate the financial amount corresponding to losses due to maintenance interventions, of approximately 282 thousand reais in one day (24 hours) in the month of June, which presented a lower volume of crushing due to failures. The decision to extend the harvest for another month should be considered very carefully, as there would be a considerable probability of failures in the 5th and 6th suits, which had the lowest reliability values. The 1st suit and the Shredder also presented low reliability values in the same period, reinforcing the importance of the decision to extend the harvest.

Key-words: Maintenance. Reliability. Sugar cane plants. Broth extraction.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Setor de extração da cana	15
Figura 2 – Setor de recepção de cana	16
Figura 3 – Setor de preparo da cana	16
Figura 4 – Picador de cana	17
Figura 5 – Desfibrador de cana	18
Figura 6 – Conjuntos de moenda	19
Figura 7 – Ocorrência	22
Figura 8 – Severidade	23
Figura 9 – Detecção	24
Figura 10 – Curva da banheira	26
Figura 11 – FMEA picador	28
Figura 12 – FMEA desfibrador	28
Figura 13 – FMEA 1º terno	28
Figura 14 – FMEA 2º terno	28
Figura 15 – FMEA 3º terno	29
Figura 16 – FMEA 4º terno	29
Figura 17 – FMEA 5º terno	29
Figura 18 – FMEA 6º terno	29
Figura 19 – Quantidade de falhas mensal	31
Figura 20 – Quantidade de falhas por equipamento	32
Figura 21 – MTBF mensal	33
Figura 22 – MTBF por equipamento	33
Figura 23 – MTTR mensal	34
Figura 24 – MTTR por equipamento	34
Figura 25 – Confiabilidade	35
Figura 26 – Disponibilidade	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Cálculo de MTBF e MTTR	32
Tabela 2 – Cálculo de confiabilidade	35
Tabela 3 – Cálculo de disponibilidade	36
Tabela 4 – Moagem e produção de etanol em junho/2020	38
Tabela 5 – Perda por litros de etanol, com base em julho/2020	38

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Justificativa	13
1.2	Objetivos	14
1.2.1	<i>Objetivo Geral</i>	14
1.2.2	<i>Objetivos Específicos</i>	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1	Setores de extração do caldo da cana-de-açúcar	15
2.1.1	<i>Recepção da cana</i>	15
2.1.2	<i>Preparo</i>	16
2.1.3	<i>Moenda</i>	18
2.2	Confiabilidade	19
2.3	Manutenção Centrada em Confiabilidade	19
2.4	Criticidade dos ativos	20
2.5	Análise dos Modos e Efeitos de Falha (FMEA)	21
2.5.1	<i>Número de prioridade de risco</i>	21
2.6	Disponibilidade dos equipamentos	24
2.6.1	<i>Tempo médio entre falhas (MTBF)</i>	25
2.6.2	<i>Tempo médio de reparo (MTTR)</i>	25
2.6.3	<i>Taxa de falha</i>	25
3	METODOLOGIA	27
3.1	Caracterização da empresa	27
3.2	Determinação dos equipamentos	27
3.3	Elaboração da FMEA	28
3.4	Cálculo de MTBF e MTTR	29
3.5	Cálculo de confiabilidade	30
3.6	Cálculo de disponibilidade	30
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1	Análise de falhas	31
4.2	Análise de MBTF e MTTR	32
4.3	Análise de confiabilidade	35
4.4	Análise de disponibilidade	36
4.5	Análise de perda	38
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	39

REFERÊNCIAS 40

1 INTRODUÇÃO

A RCM (*Reliability Centered Maintenance*) que em português significa Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC), surgiu no início de 1970 no setor aeronáutico, pelas análises das políticas de manutenção da aviação civil. Este método de manutenção se destacava pela preservação da função do sistema por meio de técnicas para análise e determinação da probabilidade de falha.

No Brasil, a metodologia do MCC vem sendo empregada em diversas empresas que priorizam aumentar a confiabilidade e disponibilidade de seus ativos. Em algumas usinas processadoras de cana-de-açúcar a metodologia do MCC vem sendo empregada com a expectativa de aumentar cada vez mais a confiabilidade e disponibilidade de seus ativos para os próximos anos. Além disso, visa melhorar a eficiência dos processos de produção e a qualidade dos produtos fabricados.

O presente trabalho apresenta os conceitos da Manutenção Centrada em Confiabilidade aplicados aos equipamentos de alta criticidade do setor de extração de cana-de-açúcar. Foi analisado o histórico de falhas referente à safra de 2020, a partir do qual foram gerados indicadores para estimar o prejuízo causado pelas intervenções de manutenção. Foi possível constatar que as causas dessas intervenções são falhas operacionais, manutenções mal executadas e baixa qualidade da cana que entra no processo.

1.1 Justificativa

Devido ao aumento dos custos de insumos para produção e manutenção, notadamente do aço e seus derivados, as empresas vêm sentindo o impacto financeiro. Por isso, têm sido buscadas estratégias com foco em operações contínuas, investindo no planejamento e controle de manutenção, confiabilidade e disponibilidade dos ativos.

Para melhores índices de confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos industriais, pode ser aplicada a MCC, que contribui também com a produtividade e o aprimoramento de técnicas para solução de problemas. Para alcançar os objetivos da MCC, é preciso identificar os sistemas, fronteiras, funções, possíveis falhas e os modos de falhas dos equipamentos. Para isso, recomenda-se que as empresas estabeleçam o Planejamento e Controle de Manutenção (PCM), normalmente o setor responsável pela implantação da MCC.

Na linha de produção de uma usina de cana-de-açúcar, o setor de extração de caldo é um dos mais críticos, uma vez que falhas nesse setor podem acarretar interrupção de todo o processo, assim como danos ambientais e à segurança dos operadores. Assim, justifica-se um estudo pormenorizado dos equipamentos envolvidos na extração do caldo, facilitando a adoção e

disseminação de práticas para reduzir falhas operacionais.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho consiste em estimar as perdas financeiras ocasionadas por falhas de manutenção no setor de extração de uma usina de cana-de-açúcar, a partir de indicadores de disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Estudar os equipamentos de alta criticidade do setor de extração.
- Aplicar os conceitos básicos de manutenção centrada em confiabilidade nos equipamentos críticos do setor de Extração.
- Analisar a confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos críticos do setor de Extração por meios de indicadores.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Setores de extração do caldo da cana-de-açúcar

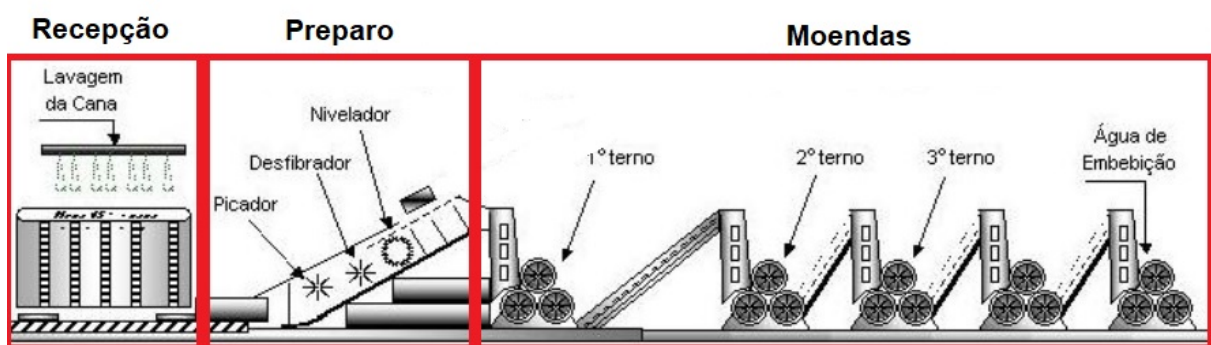
Segundo Hugot (1969), toda usina processadora de cana-de-açúcar possui três setores principais, que são divididos em subsetores. Os setores principais são:

- Extração
- Produção
- Utilidades (caldeiras de vapor)

Ainda de acordo com Hugot (1969), o setor de extração do caldo da cana-de-açúcar se divide nos seguintes subsetores, conforme pode ser observado na Figura 1:

- Recepção de cana
- Preparo da cana
- Moendas

Figura 1 – Setor de extração da cana



Fonte: Adaptado de: LIMA; FERRARESI, 2021.

2.1.1 Recepção da cana

Conforme ilustrado na Figura 2, a cana chega na usina trazida por caminhões e é despejada por um guindaste hilo (3) na mesa alimentadora (1). A mesa alimentadora é composta por uma esteira de taliscas e por um chuveiro para lavar as impurezas da cana (2). Assim, a cana é despejada em uma esteira metálica e transportada para o preparo (HUGOT, 1969).

Figura 2 – Setor de recepção de cana



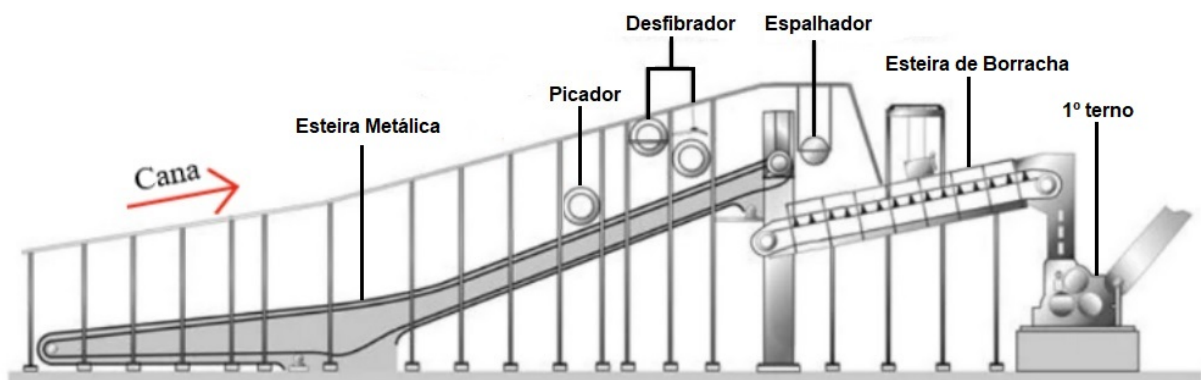
Fonte: Adaptado de: MARTINS, 2021.

2.1.2 Preparo

No preparo, a cana é cortada em pedaços pelas facas do picador, diminuindo o seu tamanho. Após o picador, a cana passa pelo desfibrador, responsável pela desintegração de sua estrutura, após o que é direcionada para o primeiro terno de moenda (HUGOT, 1969).

Nesta etapa, existem também o tambor que auxilia na compressão para desfibrar a cana, e o espalhador para nivelar a cana desfibrada na esteira. Porém, esses dois equipamentos não foram abordados no presente estudo.

Figura 3 – Setor de preparo da cana

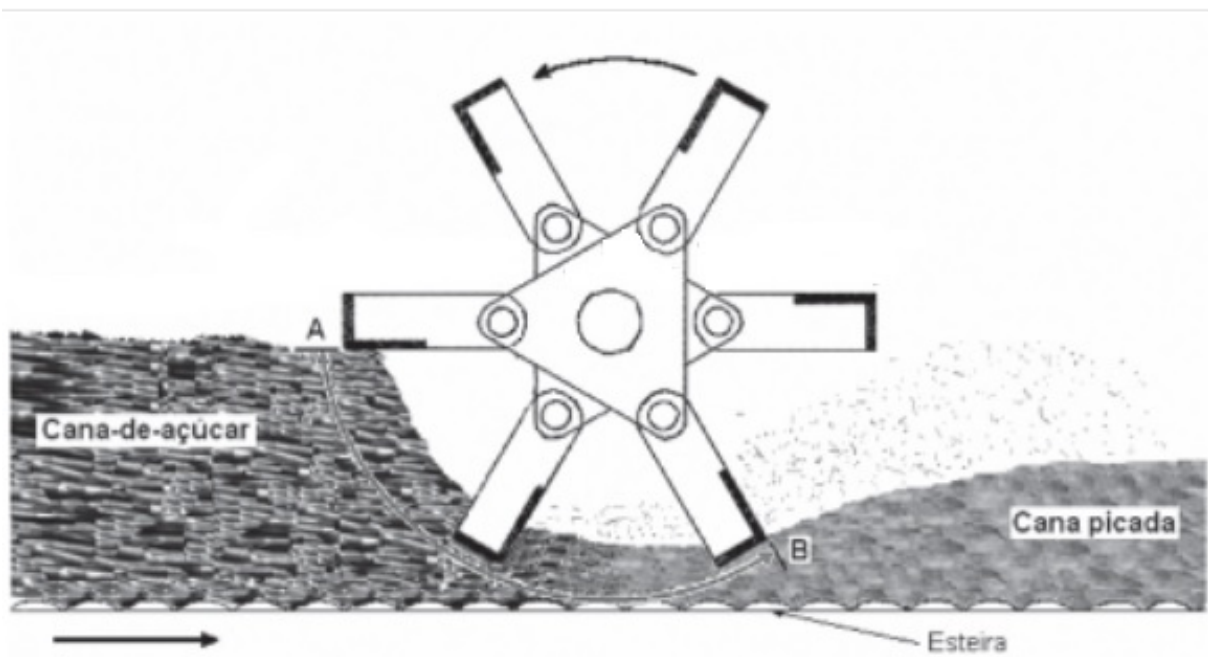


Fonte: Adaptado de: RODRIGUES, 2016.

Segundo Hugot (1969), o picador possui dois objetivos: aumentar a capacidade de moagem e a extração do caldo, por meio da redução de tamanho dos pedaços de cana que chegam à moenda.

O picador é composto por facas de aço carbono que têm a função de picar a cana e é acionado por turbinas a vapor ou motores elétricos, associados a redutores de velocidade. A Figura 4 ilustra o funcionamento do picador de cana.

Figura 4 – Picador de cana



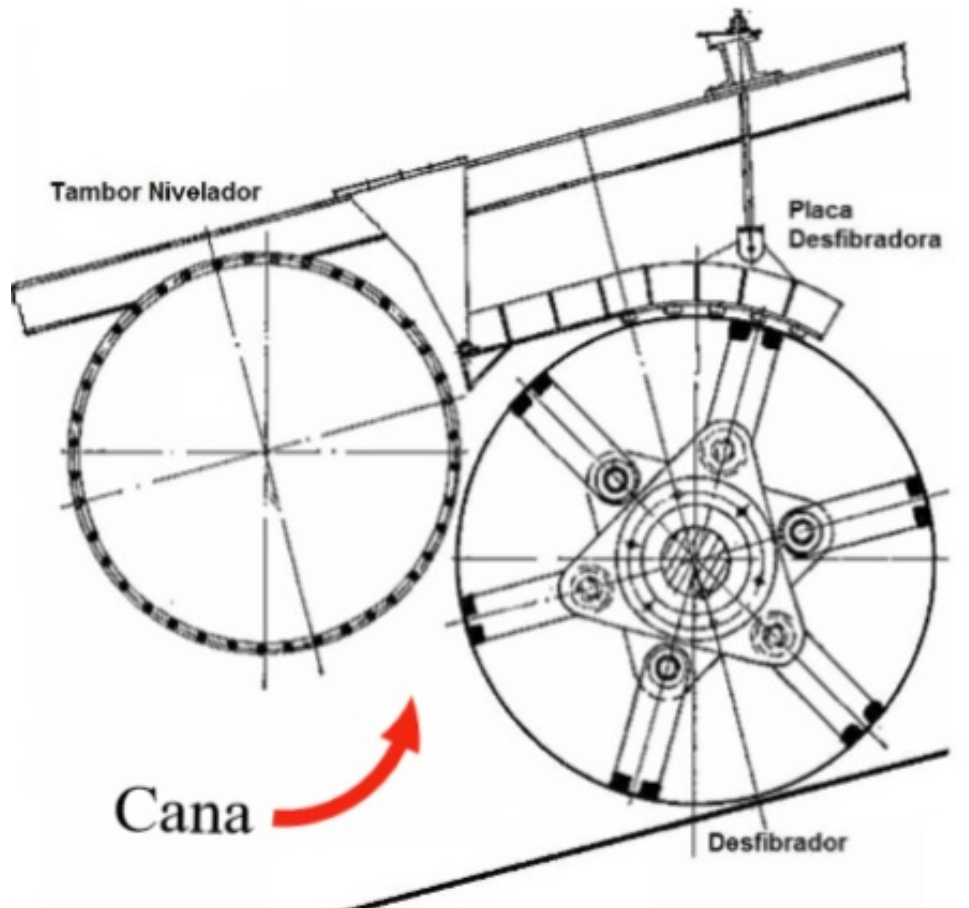
Fonte: LIMA; FERRARESI, 2010.

Segundo Manella (2012), desfibrador é um equipamento utilizado no preparo da cana com objetivo de desintegrar por completo a estrutura do colmo da cana.

A cana passa entre o tambor nivelador e desfibrador, entre a placa desfibradora e desfibrador. O desfibrador é composto por martelos de aço carbono, também é acionado por turbinas a vapor ou motores elétricos associados a redutores de velocidade.

A Figura 5 ilustra o processo de desfibração de cana.

Figura 5 – Desfibrador de cana



Fonte: Adaptado de: RIBEIRO, 2015.

2.1.3 Moenda

Na moenda ocorre o processo de extração do caldo da cana-de-açúcar por pressão mecânica. Uma moenda geralmente é composta de 4 a 7 ternos. Cada terno possui 3 rolos principais, rolo de entrada, rolo de saída e rolo superior. Algumas moendas contam com um quarto rolo chamado de rolo de pressão para melhorar a eficiência de alimentação de cana desfibrada e extração do caldo (HUGOT, 1969). A Figura 6 ilustra uma moenda de 5 ternos.

preditiva. A escolha do tipo de manutenção a ser aplicado depende de cada situação.

A manutenção corretiva é aquela em que o equipamento apresenta falha e necessita de manutenção para voltar a funcionar corretamente. Esse tipo de manutenção normalmente tem o custo mais elevado, e costuma ser realizado de maneira programada ou não planejada (BECHTOLD, 2010).

Segundo Bechtold (2010), a manutenção corretiva programada é utilizada em casos onde a falha não chega a impedir o funcionamento do equipamento, podendo ser realizada em alguma oportunidade futura.

Ainda conforme Bechtold (2010), a manutenção corretiva não planejada é aquela utilizada em situações onde o equipamento teve seu funcionamento interrompido por alguma falha, sendo necessário o conserto imediato para que o equipamento volte a funcionar. Por exemplo, em uma situação de quebra da esteira transportadora de cana para os ternos de moenda.

A manutenção preventiva é baseada no tempo de operação e não nas condições dos equipamentos. Esta manutenção é executada de forma a prolongar a vida útil dos equipamentos e máquinas, aumentando a disponibilidade e reduzindo custo com quebras indesejadas (DUTRA, 2017). Por exemplo, se um componente apresenta desgaste que pode levar a falha, esse componente é trocado com base no tempo, mesmo que ainda não tenha chegado ao final de sua vida útil.

Manutenção preditiva é baseada nas condições ou estado de funcionamentos dos equipamentos. Os equipamentos são monitorados por instrumentos específicos para identificar possíveis falhas ainda em seu estado inicial. Algumas análises são: termografia, ultrassom, vibração e análise de óleos, entre outros (DUTRA, 2017). Por exemplo, pode-se monitorar frequentemente o índice de vibração de um rolamento, substituindo-o quando esse índice atingir valores próximos ao limite aceitável.

A manutenção preditiva pode ajudar a decidir qual a melhor hora de intervir no equipamento, enquanto na preventiva o equipamento é parado em intervalos preestabelecidos para troca de seus componentes, mesmo que não tenham atingido o tempo de vida útil.

Para definir qual tipo de manutenção deve ser aplicada em um sistema e seus componentes, é preciso definir a criticidade dos ativos. A análise de criticidade associa-se aos custos de manutenção e também permite a aplicação correta dos recursos.

2.4 Criticidade dos ativos

Criticidade dos ativos é um método de avaliar a importância de um equipamento dentro do processo produtivo. Para isso, é preciso definir um nível de prioridade para ações da manutenção, de forma a se obter a máxima disponibilidade do sistema (DUTRA, 2017).

A criticidade é classificada em três níveis:

- A. Equipamentos altamente críticos;
- B. Equipamentos moderadamente críticos;
- C. Equipamentos de baixa criticidade.

Para avaliar a criticidade dos ativos é levado em consideração segurança, qualidade do produto, custos e impactos na produção, entre outros. A análise de criticidade faz parte de uma análise mais ampla da Análise dos Modos e Efeitos de Falha (FMEA).

2.5 Análise dos Modos e Efeitos de Falha (FMEA)

A FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*) é uma técnica utilizada para identificar e analisar falhas potenciais que possam surgir em um equipamento ou processo, bem como seus possíveis efeitos e causas. Além disso, por meio da FMEA é possível definir estratégias para eliminar ou reduzir possíveis ocorrências de falhas, gerando informações para subsidiar as estratégias de manutenção (FOLGLIATTO; DUARTE, 2011). Como um dos indicadores gerados pela FMEA, está o Número de Prioridade de Risco (RPN), que é uma combinação dos fatores Severidade, Ocorrência e Detecção.

2.5.1 Número de prioridade de risco

O RPN (*Risk Priority Number*, na sigla em inglês) é o produto matemático obtido pela multiplicação das pontuações dos índices de Ocorrência, Severidade e Detecção, que podem ser avaliados de 1 a 10 (DUTRA, 2017), por meio de tabelas ajustadas para cada ramo de atividade ou tipo de processo. É uma forma de priorizar os itens cujas falhas apresentam os maiores impactos ao processo.

A elaboração e revisão periódica da FMEA é de responsabilidade de uma equipe multidisciplinar, que se reúne periodicamente para identificar os modos de falha, os efeitos causados por essas falhas e sua severidade, as possíveis causas, os índices de ocorrência e as formas de prevenção e detecção de cada uma.

Segundo Dutra (2017), a ocorrência é definida como a probabilidade de uma falha acontecer. Para avaliação do índice de ocorrência é utilizada uma escala quantitativa de 1 a 10, conforme a Figura 7.

Figura 7 – Ocorrência

Nível de Rigor	Parâmetro	Nota
Chance Remota de Ocorrência	A falha costuma ocorrer no máximo 1 vez a cada 2 anos (Ou mais)	1
	A falha costuma ocorrer no máximo 1 vez por ano.	2
Falhas Esporádicas	A falha costuma ocorrer no máximo 1 vez por Semestre.	3
	A falha costuma ocorrer no máximo 1 vez por Trimestre	4
Falhas Comuns	A falha costuma ocorrer no máximo 1 vez por Bimestre	5
	A falha costuma ocorrer no máximo 1 vez por Mês	6
Falhas Corriqueiras	A falha costuma ocorrer no máximo 1 vez a cada 2 Semanas	7
	A falha costuma ocorrer no máximo 1 vez por Semana	8
Falhas Extremamente Persistentes	A falha costuma ocorrer no máximo 1 vez por Dia	9
	A falha costuma ocorrer varias vezes ao dia.	10

Fonte: Adaptado de: DUTRA, 2017.

Segundo Dutra (2017), a severidade é o índice que classifica a gravidade do efeito da falha nos componentes de um equipamento. O índice de severidade é considerado conforme o grau de risco da falha ao processo na planta de manufatura, montagem ou produção. Sua classificação é estimada de 1 a 10, conforme representa a Figura 8.

Figura 8 – Severidade

Nível de Rigor	Parâmetro	Nota
Impacto na máquina.	Caso a falha ocorra, o equipamento não demonstrará perda de performance	1
	Caso a falha ocorra, o equipamento demonstrará perda de performance, mais o processo não será afetado	2
Impacto no Processo	Caso a falha ocorra, o equipamento demonstrará perda de performance, e o processo também perderá performance.	3
	Caso a falha ocorra, pode paralisar o equipamento e o processo, mais não causará paralização na produção.	4
Impacto na Produção	Caso a falha ocorra, pode paralisar o equipamento, o processo e a produção como um todo, de maneira recuperável	5
	Caso a falha ocorra, pode paralisar o equipamento, o processo e a produção como um todo, de maneira irrecuperável.	6
Impacto de Paralisação Total	Caso a falha ocorra, pode paralisar o equipamento, o processo e a produção como um todo, causando lucro cessante, recuperável com aumento de capacidade (ainda que gere custo de retrabalho e hora extra)	7
	Caso a falha ocorra, pode paralisar o equipamento, o processo e a produção como um todo, causando lucro cessante irrecuperável.	8
Impacto a Segurança	Caso a falha ocorra, o equipamento poderá causar danos a segurança dos operadores e/ou colaboradores.	9
	Caso a falha ocorra, o equipamento poderá causar danos a segurança dos operadores e/ou colaboradores, e também danos ao meio ambiente.	10

Fonte: Adaptado de: DUTRA, 2017.

Segundo Dutra (2017), a detecção representa a probabilidade de uma falha ser identificada por algum tipo de controle. Para isso, se utiliza um intervalo relativo dentro do escopo do FMEA. O índice de Detecção é classificado em uma escala quantitativa de 1 a 10, conforme a Figura 9.

Figura 9 – Detecção

Nível de Rigor	Parâmetro	Nota
A prova de Falha	Existe monitoramento por instrumento constante no equipamento para detectar a falha.	1
	Existe monitoramento por instrumento periódico no equipamento para detectar a falha	2
Medição Por Equipamento	A falha é facilmente detectada pelo operador pois faz parte de sua rotina conferir o equipamento com instrumento.	3
	A falha é facilmente detectada pelo mecânico pois faz parte de sua rotina conferir o equipamento com instrumento.	4
	A falha pode ser detectada pelo mecânico com uso de instrumento, mas não faz parte da rotina normal.	5
Inspeção Manual	A falha pode ser detectada pelo mecânico apenas retirando partes móveis do equipamento.	6
	A falha pode ser detectada pelo mecânico apenas retirando uma parte fixa do equipamento.	7
	A falha pode ser detectada pelo mecânico apenas desmontando o equipamento em loco.	8
	A falha pode ser detectada pelo mecânico apenas retirando o equipamento de loco e levando para oficina.	9
	Para detectar a falha, é necessário retirar o equipamento do local e enviar para laboratório ou oficina especializada.	10

Fonte: Adaptado de: DUTRA, 2017.

2.6 Disponibilidade dos equipamentos

Segundo Folgliatto e Duarte (2011), a disponibilidade dos equipamentos é um dos principais indicadores de confiabilidade utilizados em programas de manutenção.

A disponibilidade dos equipamentos avalia de forma métrica o desempenho de sua função, em um determinado instante, por um período, de forma que se alcance a confiabilidade e manutenibilidade dos equipamentos (ALBERTI, 2020).

Para avaliar a disponibilidade dos equipamentos é necessário determinar o Tempo médio entre falhas (MTBF) e o Tempo médio de reparo (MTTR), que são indicadores utilizados para

medir a confiabilidade de equipamentos de qualquer natureza, sendo o ponto de referência para tomada de decisão (ALBERTI, 2020).

Com a utilização de indicadores de manutenção, é possível um melhor gerenciamento das atividades de manutenção, identificando gargalos, solucionando problemas e determinando novas estratégias.

2.6.1 Tempo médio entre falhas (MTBF)

MTBF vem da sigla *Mean Time Between Failures*, ou Tempo Médio Entre Falhas. É o indicador mais importante para o setor de manutenção (DUTRA, 2017). Este indicador tem como função de mensurar, quantitativamente, o tempo médio entre falhas sucessivas, em um certo intervalo de tempo. Por exemplo, se o equipamento apresentar uma falha com 8 horas e outra falha com 100 horas de funcionamento, significa que, antes da segunda falha, o equipamento operou por mais tempo. Portanto, quando maior for este intervalo, melhor.

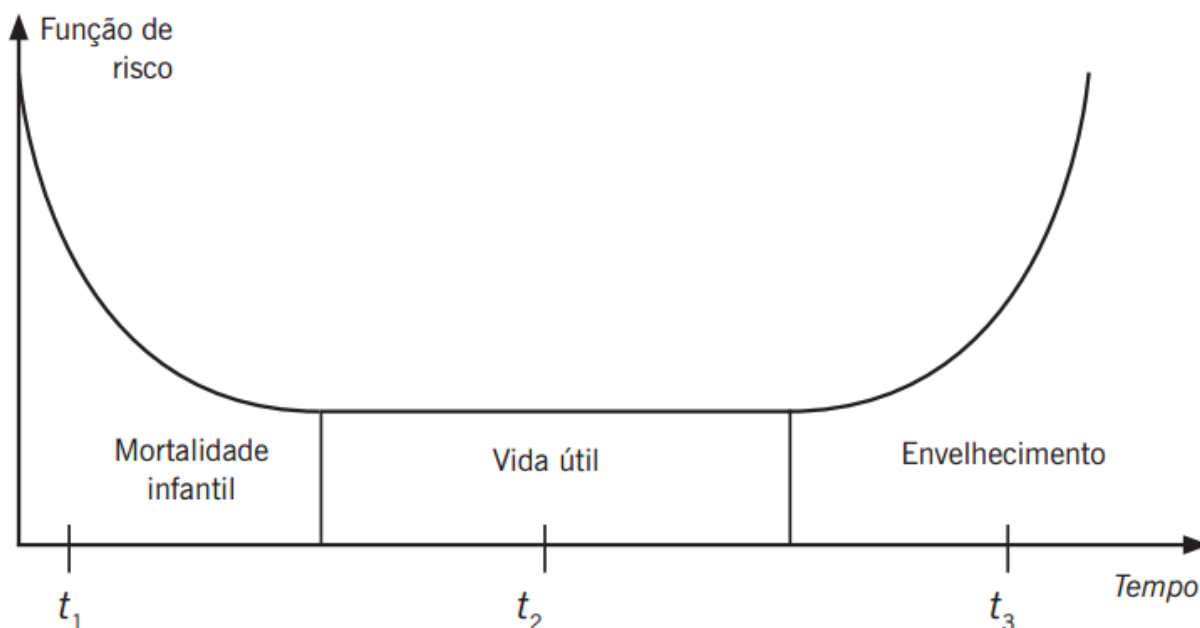
2.6.2 Tempo médio de reparo (MTTR)

O tempo médio de reparo, designado por MTTR (*Mean Time to Repair*), define por quanto tempo o equipamento ficou em manutenção, desde a notificação do defeito até a retomada de funcionamento após o reparo (DUTRA, 2017). O MTTR é calculado em um determinado intervalo de tempo, e todos os reparos ocorridos dentro desse intervalo são utilizados para cálculo do indicador. Por exemplo, se o reparo da primeira falha de um equipamento foi de 2 horas e na segunda falha foi de 1 hora, significa que houve redução do MTTR, ou seja, quanto menor for o tempo de reparo, melhor.

2.6.3 Taxa de falha

A taxa de falha ou função de risco é utilizada para medir a probabilidade de falhas em função do tempo. Para fins de estudos de confiabilidade, mede-se a vida útil dos equipamentos e componentes utilizando o gráfico da "curva da banheira" (CYRINO, 2017), que representa três períodos distintos da vida útil de um equipamento, conforme mostra a Figura 10.

Figura 10 – Curva da banheira



Fonte: Adaptado de: FOLGLIATTO; DUARTE, 2011.

- No período da mortalidade infantil percebe-se um decréscimo da taxa de falhas, geralmente ocasionado por falhas prematuras, defeitos de instalação, componentes e erros de projeto, entre outros.
- No período de vida útil a taxa de falhas é relativamente constante, uma vez que possíveis falhas prematuras já foram solucionadas e que o equipamento encontra-se próximo às suas condições de projeto. Nessa fase a taxa de falhas é menor do que nas outras.
- No período de desgaste, ocorre aumento da taxa de falhas, geralmente associadas ao desgaste devido ao próprio uso ao longo do tempo.

Por meio desses indicadores, é possível mensurar a disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos. Quanto maior for a disponibilidade melhor será para a empresa, ou seja, maior poderá ser a produção. Quanto maior for a confiabilidade dos equipamentos, menores serão os custos com manutenção e maior será a disponibilidade.

3 METODOLOGIA

Os dados utilizados neste trabalho foram extraídos do banco de dados de uma usina processadora de cana-de-açúcar do setor de extração do caldo da cana. Esses dados foram essenciais para o desenvolvimento do estudo da Manutenção Centrada em Confiabilidade. Os dados obtidos foram coletados no período de safra da cana, de abril a novembro de 2020, em regime ininterrupto de trabalho.

3.1 Caracterização da empresa

A empresa estudada localiza-se no interior do estado de São Paulo, na região de Ribeirão Preto. A empresa tem capacidade de moagem de 16.000 ton/dia de cana-de-açúcar, produção de 35.000 sacas/dia de 50 kg de açúcar e 1.200 m³/dia de etanol. O setor industrial tem aproximadamente 150 funcionários atuando diretamente na área fabril e aproximadamente 50 colaboradores na manutenção.

3.2 Determinação dos equipamentos

Os equipamentos estudados são sistemas compostos por diversos mecanismos e componentes. Quando ocorre a falha de um sistema, não significa que todos os componentes desse sistema também falharam. Os sistemas a seguir, foram selecionados em função de sua criticidade e impacto em processo produtivo, em caso de falhas:

- Picador de cana
- Desfibrador
- 1º Terno
- 2º Terno
- 3º Terno
- 4º Terno
- 5º Terno
- 6º Terno

3.3 Elaboração da FMEA

Foi elaborada a FMEA para cada equipamento, considerando as falhas mais frequentes e mais graves. Em função da pouca quantidade de informações disponíveis, os modos de falha foram classificados em elétricos e mecânicos, conforme mostrado nas Figuras 11 a 18.

Figura 11 – FMEA picador

FMEA		Picador					
Análise de Falha			Avaliação de Risco				Ação Preventiva Recomendada
Modo de Falha	Efeitos de Falha	Causa da Falha	Ocorrência	Severidade	Detecção	RPN	
Elétrico	Desarme do Picador	Carga alta cana/palha	6	8	2	96	Limitar volume de entrada no nivelador
Mecânico	Estourou o trocador de calor	Alta pressão na linha	2	10	9	180	Verificar medidor de pressão frequentemente

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Figura 12 – FMEA desfibrador

FMEA		Desfibrador					
Análise de Falha			Avaliação de Risco				Ação Preventiva Recomendada
Modo de Falha	Efeitos de Falha	Causa da Falha	Ocorrência	Severidade	Detecção	RPN	
Elétrico	Desarme do Desfibrador	Carga alta cana/palha	6	8	2	96	Limitar volume de entrada no nivelador
Mecânico	Quebra do Acoplamento	Desalinhamento/ carga alta	6	8	3	144	Limitar volume de entrada no nivelador

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Figura 13 – FMEA 1º terno

FMEA		1º Terno					
Análise de Falha			Avaliação de Risco				Ação Preventiva Recomendada
Modo de Falha	Efeitos de Falha	Causa da Falha	Ocorrência	Severidade	Detecção	RPN	
Elétrico	Desarme da Turbina/Bucha	Carga alta cana/palha	6	8	2	96	Limitar volume de entrada
Mecânico	Aquecimento do Mancal/Rolamento	Desgaste/ Lubrificação	5	3	3	45	Substituição/Limpeza

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Figura 14 – FMEA 2º terno

FMEA		2º Terno					
Análise de Falha			Avaliação de Risco				Ação Preventiva Recomendada
Modo de Falha	Efeitos de Falha	Causa da Falha	Ocorrência	Severidade	Detecção	RPN	
Elétrico	Desarme da Turbina/Bucha	Carga alta cana/palha	6	8	2	96	Limitar volume de entrada
Mecânico	Aquecimento do Mancal/Rolamento	Desgaste/ Lubrificação	5	3	3	45	Substituição/Limpeza

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Figura 15 – FMEA 3º terno

FMEA	3º Terno						
Análise de Falha			Avaliação de Risco				Ação Preventiva Recomendada
Modo de Falha	Efeitos de Falha	Causa da Falha	Ocorrência	Severidade	Detecção	RPN	
Elétrico	Desarme da Turbina/Bucha	Carga alta cana/palha	6	8	2	96	Limitar volume de entrada
Mecânico	Quebra de talisca	Desgaste/Desalinhamento	3	5	3	45	Troca dos parafusos

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Figura 16 – FMEA 4º terno

FMEA	4º Terno						
Análise de Falha			Avaliação de Risco				Ação Preventiva Recomendada
Modo de Falha	Efeitos de Falha	Causa da Falha	Ocorrência	Severidade	Detecção	RPN	
Mecânico	Furo na linha de lubrificação	Corrosão	2	1	3	6	Soldar local do furo

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Figura 17 – FMEA 5º terno

FMEA	5º Terno						
Análise de Falha			Avaliação de Risco				Ação Preventiva Recomendada
Modo de Falha	Efeitos de Falha	Causa da Falha	Ocorrência	Severidade	Detecção	RPN	
Elétrico	Desarme da Turbina/Bucha	Carga alta cana/palha	6	8	2	96	Limitar volume de entrada
Mecânico	Quebra da turbina	Falta de manutenção	2	8	8	128	Manutenção geral

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Figura 18 – FMEA 6º terno

FMEA	6º Terno						
Análise de Falha			Avaliação de Risco				Ação Preventiva Recomendada
Modo de Falha	Efeitos de Falha	Causa da Falha	Ocorrência	Severidade	Detecção	RPN	
Elétrico	Desarme da Turbina/Bucha	Carga alta cana/palha	6	8	2	96	Limitar volume de entrada
Mecânico	Regulagem da moenda	Falha de instalação	6	3	3	54	Regular

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

3.4 Cálculo de MTBF e MTTR

Para calcular o MTBF e MTTR é preciso saber o tempo de bom funcionamento dos equipamentos e a quantidade de falhas. O cálculo foi feito considerando todo o período de safra para cada equipamento.

Segundo Dutra (2017), para calcular o MTBF utiliza-se a equação 3.1.

$$MTBF = \frac{HD}{NF} \quad (3.1)$$

- HD = Horas disponíveis;
- NF = Números de falhas.

Quanto maior for o valor de MTBF melhor será para o equipamento. Isso significa que o equipamento opera por um tempo maior sem apresentar falhas.

Segundo Dutra (2017), o MTTR é calculado através da equação 3.2.

$$MTTR = \frac{TTR}{QF} \quad (3.2)$$

- TTR = Tempo total de reparo (h);
- QF = Quantidade de falhas.

3.5 Cálculo de confiabilidade

Segundo Dutra (2017), para calcular a confiabilidade de cada sistema foi utilizado a equação 3.3.

$$C(t) = e^{-\lambda \cdot t} \quad (3.3)$$

- e = Número de Euler (2,718);
- λ = Taxa de falhas (%);
- t = Tempo de projeção (h).

A equação representa que, a partir de uma taxa de falha constante, é possível estimar a probabilidade de um equipamento ou sistema falhar em um período de tempo definido.

3.6 Cálculo de disponibilidade

A disponibilidade calculada por meio da equação 3.4, considerando o período de tempo que os ativos estiveram funcionando. Para cálculo da disponibilidade é necessário comparar o tempo em que o ativo esteve funcionando com as horas de trabalho previstas.

$$Disponibilidade = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (3.4)$$

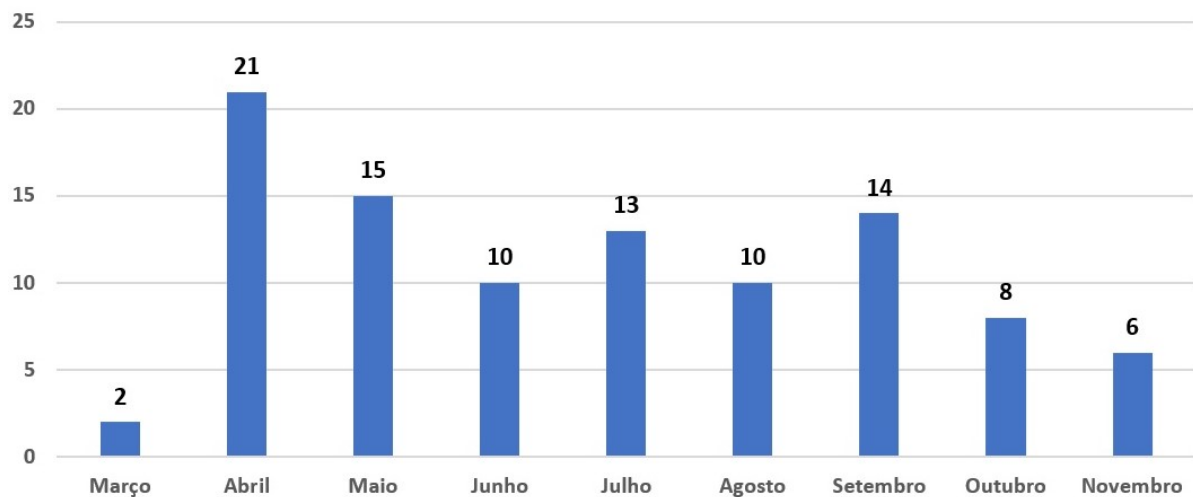
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio dos cálculos, foi possível encontrar valores para estimar a confiabilidade dos equipamentos críticos do setor de extração, conforme o tópico 3.2. Utilizando os resultados foram criados os indicadores para análise de confiabilidade.

4.1 Análise de falhas

Foram consideradas as falhas responsáveis por paradas do processo de extração, causando grande impacto à produção. A partir da análise das falhas, foi possível estratificar as falhas em função do mês (Figura 19) e do equipamento (Figura 20).

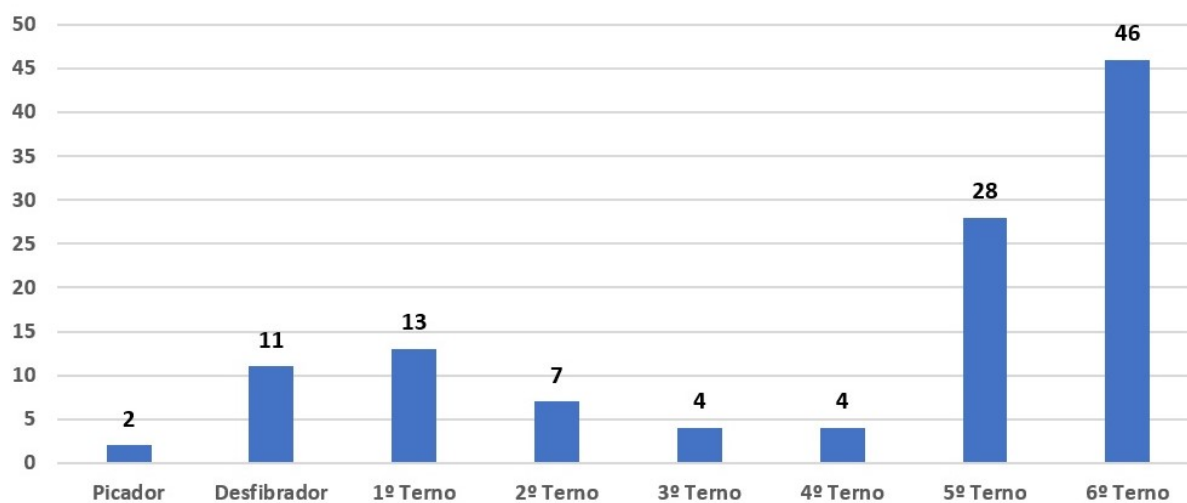
Figura 19 – Quantidade de falhas mensal



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

De acordo com os dados da Figura 19, o mês de abril foi o que teve maior intervenção por falhas, logo no início da safra, devido aos ajustes necessários após a entressafra.

Figura 20 – Quantidade de falhas por equipamento



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Analisando a Figura 20, é possível observar que o 6º turno foi o que apresentou maior número de falhas. De acordo com sua FMEA (Figura 18), as falhas foram causadas por alto volume de cana que ocasiona em desarme da turbina e desregulagem da moenda por falha operacional/mecânica.

O picador de cana, por sua vez, foi o que apresentou menor número de intervenções. Porém, de acordo com seu FMEA (Figura 11), o rompimento do trocador de calor apresenta alta severidade, trazendo risco para os operadores do setor. Seu RPN foi o maior entre os equipamentos.

4.2 Análise de MBTF e MTTR

A Tabela 1 apresenta os dados obtidos e os resultados de MTBF e MTTR.

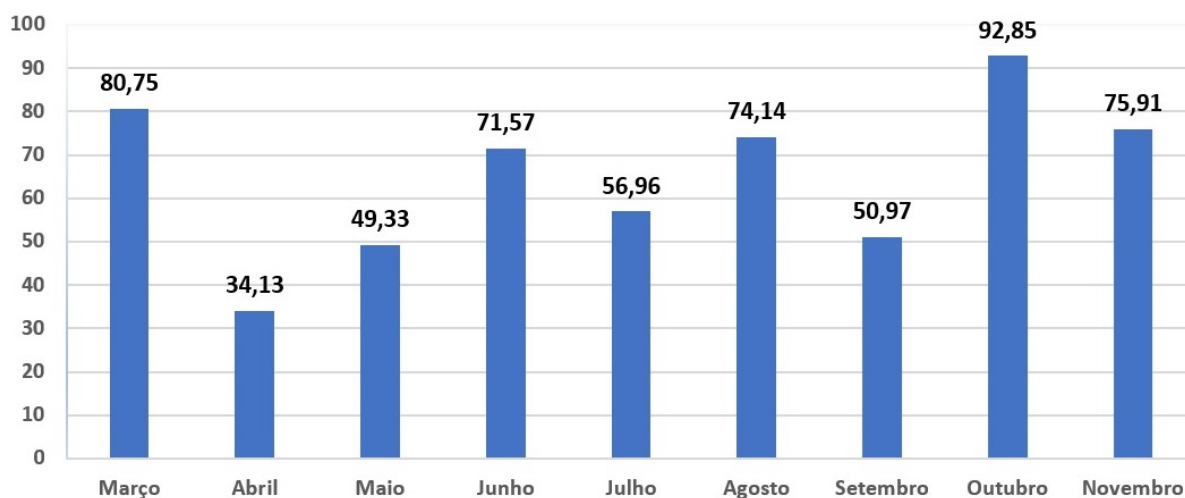
Tabela 1 – Cálculo de MTBF e MTTR

Equipamentos	Horas disponíveis	Horas corretiva	Nº Falhas	MTBF	MTTR
Picador	5.757	3,00	2	2.878,50	1,50
Desfibrador	5.738	22,67	11	521,64	2,06
1º Terno	5.744	16,07	13	441,85	1,24
2º Terno	5.754	6,05	7	822	0,86
3º Terno	5.759	1,55	4	1.439,75	0,39
4º Terno	5.760	0,32	4	1.440	0,08
5º Terno	5.759	1,73	28	205,68	0,06
6º Terno	5.757	3,22	46	125,15	0,07

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Da mesma forma, foram gerados os indicadores de MTBF com base no tempo (Figura 21) e para cada equipamento (Figura 22).

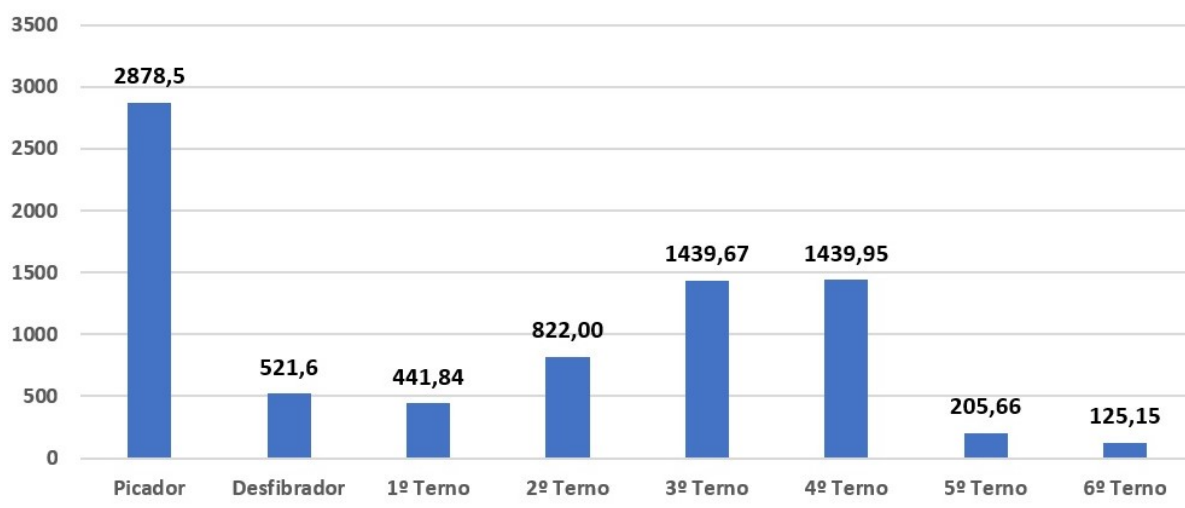
Figura 21 – MTBF mensal



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Pela análise da Figura 21, observa-se que o mês de outubro foi o que teve maior MTBF, logo pela aproximação do final da safra os equipamentos apresentam maiores desgastes dos seus componentes, sendo necessário uma manutenção mais atenciosa.

Figura 22 – MTBF por equipamento

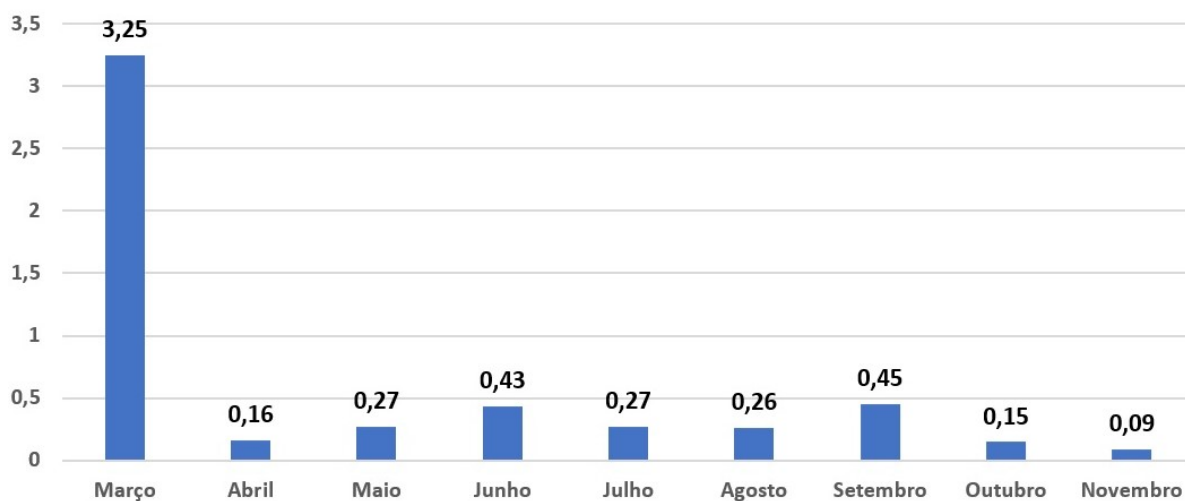


Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Conforme pode ser visto na Figura 22, o picador de cana apresentou maior MTBF em relação aos outros equipamentos. O que apresentou menor MTBF foi o 6º terno, devido à alta frequência de intervenções durante a safra por falhas.

Também foram gerados gráficos para MTTR, em função do tempo (Figura 23) e por equipamento (Figura 24), conforme segue:

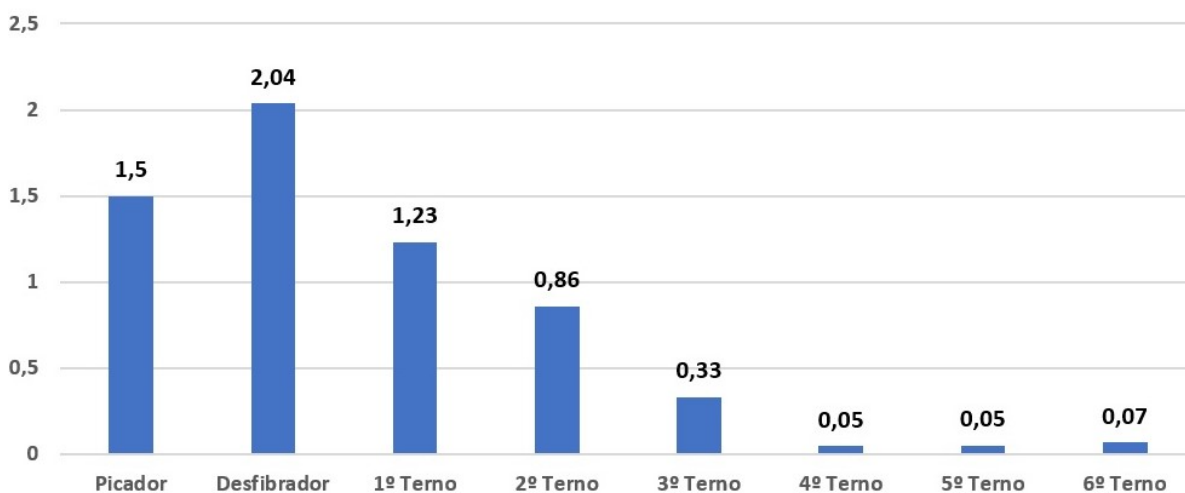
Figura 23 – MTTR mensal



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

De acordo com o MTTR mensal, exibido na Figura 23, nota-se que o mês de março apresentou o maior tempo médio de reparo. Por ser início de safra, os equipamentos não estão 100% regulados, a qual leva um tempo maior para serem ajustados.

Figura 24 – MTTR por equipamento



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Em relação ao MTTR por equipamentos, conforme a figura 24. O desfibrador foi o que teve maior média de horas de reparo devido a falha operacional, o que indica que causou maior impacto ao processo do que o 6º terno, por exemplo, que teve maior número de falhas do que o desfibrador.

4.3 Análise de confiabilidade

A confiabilidade foi calculada para estimar a probabilidade de os equipamentos, em conjunto, funcionarem em perfeito estado por um determinado período de tempo. Essa estimativa é essencial caso haja a necessidade de prolongar a safra ou tomar a decisão de quanto tempo os equipamentos, sob condições aceitáveis, caso haja a necessidade de intervir no processo para manutenção.

Assim, considerando que seja necessário que a safra se estenda por mais um mês (720h), pelos dados da Tabela 1, determina-se a confiabilidade esperada no próximo mês, a partir da taxa de falhas calculada com os dados anteriores.

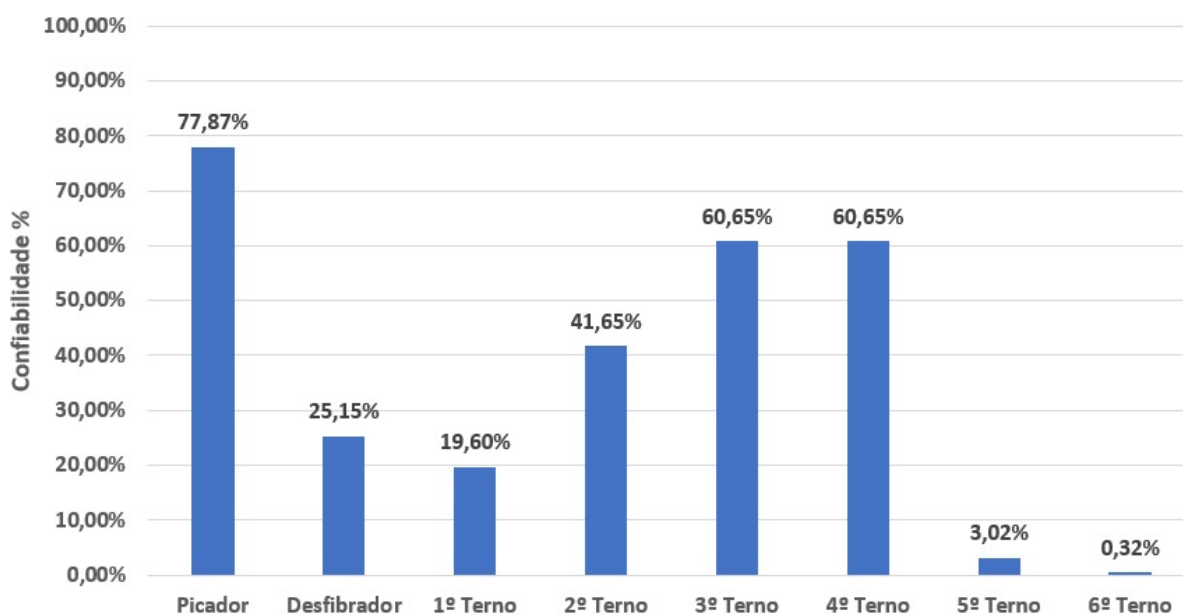
Tabela 2 – Cálculo de confiabilidade

Equipamentos	Taxa de falhas	Tempo de Projeção (h)	Confiabilidade (%)
Picador	0,000347	720	77,87
Desfibrador	0,001917	720	25,15
1º Terno	0,002263	720	19,6
2º Terno	0,001217	720	41,65
3º Terno	0,000695	720	60,65
4º Terno	0,000694	720	60,65
5º Terno	0,004862	720	3,02
6º Terno	0,007990	720	0,32

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

A Figura 25 mostra os resultados de confiabilidade de cada equipamento.

Figura 25 – Confiabilidade



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Pela análise da Figura 25, pode-se concluir que a decisão de prorrogar a safra por mais 1 mês deveria ser pensada com muito cuidado, já que haveria probabilidade considerável de haver falhas no 5º e 6º ternos, que apresentaram os menores valores de confiabilidade. O 1º terno e o Desfibrador também apresentaram baixos valores de confiabilidade no mesmo período, reforçando a importância da decisão quanto a estender a safra.

4.4 Análise de disponibilidade

A disponibilidade foi calculada considerando o funcionamento de todos os equipamentos juntos mensalmente, para analisar o aproveitamento de tempo dos equipamentos. A Tabela 3 apresenta os resultados de disponibilidade obtidos considerando-se um período de safra de 5.760 horas.

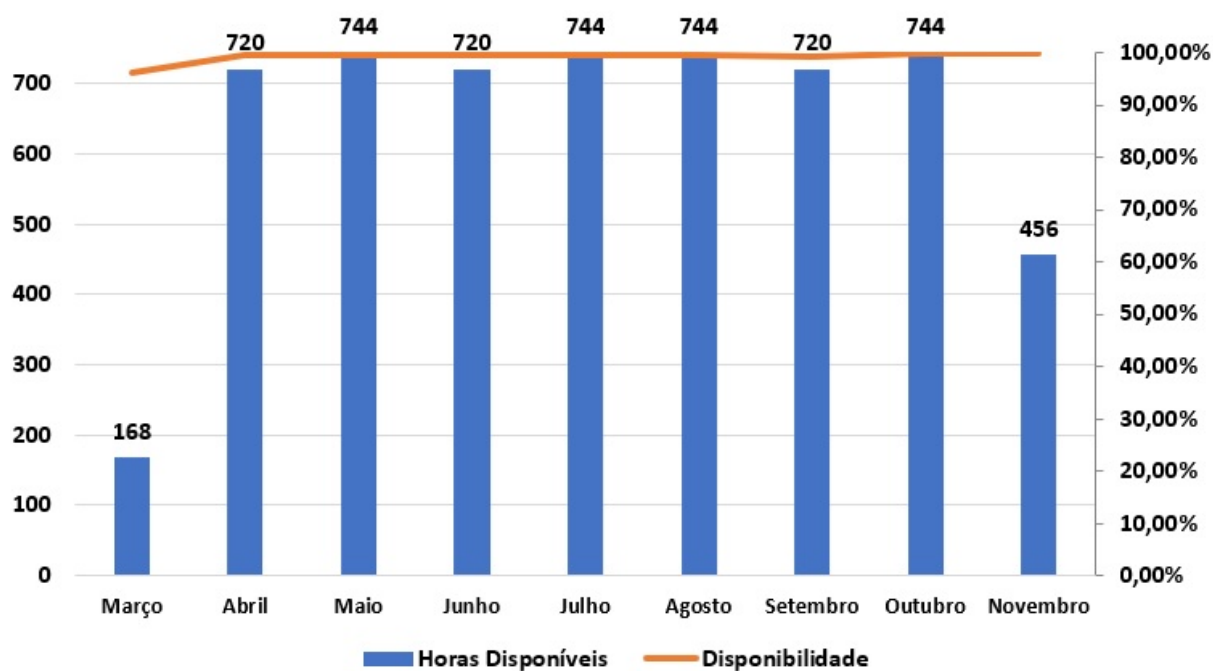
Tabela 3 – Cálculo de disponibilidade

Equipamentos	MTBF	MTTR	Disponibilidade (%)
Picador	2.878,50	1,50	99,95
Desfibrador	521,64	2,06	99,61
1º Terno	441,85	1,24	99,72
2º Terno	822,00	0,86	99,89
3º Terno	1.439,75	0,39	99,97
4º Terno	1.440,00	0,08	99,99
5º Terno	205,68	0,06	99,97
6º Terno	125,15	0,07	99,94

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

A Figura 26 mostra a disponibilidade dos equipamentos em relação ao tempo disponível mensal.

Figura 26 – Disponibilidade



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

A disponibilidade dos equipamentos se manteve próximo a 100%, o que indica que os equipamentos funcionaram com bom aproveitamento de tempo durante toda a safra de 2020. Mesmo com as intervenções ocorridas, não houve impacto significativo no processo de produção, no que diz respeito à disponibilidade dos equipamentos.

4.5 Análise de perda

Para analisar a perda de produção devido ao tempo de paradas foi feita a média diária do mês de junho e foi calculada a diferença da média em relação à moagem em um dia em que houve intervenção por falhas. A Tabela 4 mostra a diferença de moagem e produção de etanol hidratado no mês de junho, meados da safra.

Tabela 4 – Moagem e produção de etanol em junho/2020

Parâmetro	Média	Realizado	Diferença
Cana Processada (ton)	14.209,69	12.135,43	2.074,26
Total de Etanol (m ³)	1065,73	910,16	155,57

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Para estimar as perdas financeiras ocasionadas pelas intervenções de manutenção, foram considerados os produtos fabricados pela usina: álcool hidratado, álcool anidro, levedura, açúcar cristal e VHP. Uma vez que não foram encontradas informações suficientes para uma análise mais detalhada, foi considerado que é possível produzir cerca de 0,075 m³ de etanol hidratado a partir de cada tonelada de cana processada., de acordo com (ETANOL... , 2019), e para fins de cálculos, considerou-se apenas o álcool hidratado, cujo valor unitário em julho/2020 era de R\$ 1,8151 por litro (PREÇO... , 2020).

Dessa forma, assumindo o volume de etanol exibido na Tabela 4, pode-se concluir que deixaram de ser produzidos aproximadamente 155.570 litros de etanol hidratado. As perdas financeiras referentes a esse produto podem ser vistas na Tabela 5.

Tabela 5 – Perda por litros de etanol, com base em julho/2020

Parâmetro	Valor (R\$/L)	Perda (L)	Total (R\$)
Etanol Hidratado	1,8151	155.570	282.375,11

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

O valor encontrado na Tabela 5 demonstra a magnitude do prejuízo oriundo de intervenções de manutenção, considerando apenas um dos produtos do portfólio. As perdas calculadas seriam maiores caso fossem contabilizados os demais produtos, custos associados a peças de reposição e insumos, mão de obra e encargos sociais, entre outros.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através do estudo foi possível obter embasamento teórico sobre Manutenção Centrada em Confiabilidade e uma breve apresentação dos equipamentos estudados do setor de extração. Salienta-se que o setor de extração possui outros diversos equipamentos que não foram abordados, devido a sua baixa criticidade. Porém, também são essenciais para que o processo funcione adequadamente.

Ainda que tenham sido empregados apenas cálculos básicos de indicadores de MCC, foi possível obter resultados importantes e próximos dos reais. Para estudos mais aprofundados, poderia ser escolhido um único equipamento para aplicação de outros métodos estatísticos, como Distribuições de Probabilidade de Weibull, Poisson ou Gama, entre outros.

Foram utilizados indicadores visuais e gráficos para exibição dos resultados, tal como costuma ser utilizado pelos departamentos de manutenção de muitas empresas, de modo a aproximar o estudo de uma situação real. Algumas das ferramentas empregadas na MCC não foram utilizadas, tais como a Curva da Banheira, uma vez que o estudo não abordou a vida útil dos equipamentos.

O estudo apresentou alguns dos principais conceitos para implantar a metodologia da MCC no setor de extração. Como possibilidades futuras, além da utilização de outras distribuições de probabilidade, também é possível estender a análise para os demais setores da empresa, o que necessitará maior tempo e investimento, uma vez que a quantidade de equipamentos é muito grande. Ademais, poderão ser realizados estudos com foco no desenvolvimento de planos de manutenção preventiva e preditiva, a partir dos conceitos aqui apresentados.

Como maior limitação, o presente trabalho deparou-se com registro de falhas incompleto, ocasionado pelo preenchimento inadequado de Ordens de Serviço. Além disso, na empresa estudada não havia informações suficientes para elaboração e revisão das folhas de FMEA. Também houve limitação das informações referentes a dados de produção diários e mensais, apontamentos de mão de obra e materiais, entre outros. Ainda assim, foi possível estimar as perdas financeiras ocasionadas por intervenções de manutenção, enfatizando a importância do planejamento de manutenção para os resultados financeiros de uma empresa.

REFERÊNCIAS

- ALBERTI, A. **Como calcular a disponibilidade de máquinas e equipamentos**. 2020. Disponível em: <<https://www.alsglobal.com/pt-br/news/artigos/2020/08/como-calcular-a-disponibilidade-de-maquinas-e-equipamentos>>. Acesso em: 05 de setembro de 2021.
- BECHTOLD, M. J. **Manutenção Mecânica**. Florianópolis, SC: SENAI/SC, 2010.
- CYRINO, L. **Curva da Banheira e a Taxa de Falhas**. Manutenção em Foco, 2017. Disponível em: <<https://www.manutencaoemfoco.com.br/curva-da-banheira/>>. Acesso em: 07 de setembro de 2021.
- DUTRA, J. T. **Planejamento e Controle de Manutenção**. Brasília-DF: João Romero Alvarenga, 2017.
- DUTRA, J. T. **Introdução à Manutenção Centrada em Confiabilidade: O que você precisa saber sobre RCM!** 2021. Disponível em: <<https://engeteles.com.br/manutencao-centrada-na-confiabilidade/>>. Acesso em: 12 de Novembro de 2021.
- ETANOL de Cana x Etanol de Milho. Piracicaba Engenharia Sucroalcooleira, 2019. Disponível em: <<https://www.piracicabaengenharia.com.br/etanol-de-cana-x-etanol-de-milho/>>. Acesso em: 17 de outubro de 2021.
- FOLGLIATTO, F. S.; DUARTE, J. L. R. **Confabilidade e Manutenção Industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2011.
- GODOY, L. M. **Extração de caldo de cana-de-açúcar com uso de moenda a vapor**. [S.l.: s.n.], 2013.
- HUGOT, E. **Manual da engenharia açucareira**. [S.l.]: Mestre Jou, 1969.
- LEEMIS, L. M. **Reliability: probabilistic models and statistical methods**. [S.l.]: Prentice-Hall, Inc., 1995.
- LIMA, A. C.; FERRARESI, V. A. **Análise da resistência ao desgaste de revestimento duro aplicado por soldagem em facas picadoras de cana-de-açúcar**. [S.l.]: SciELO Brasil, 2010. 94–102 p.
- LIMA, A. C.; FERRARESI, V. A. **Desgaste em Equipamentos de Processamento de Cana-de-Açúcar em Destilaria de Álcool**. 2021. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/PM16-0092_000fxg23qv402wyiv80soht9hrcsev2d.pdf>. Acesso em: 29 de junho de 2021.

MANELLA, J. N. A. **Glossário de termos técnicos usados na indústria açucareira e alcooleira**. [S.l.]: Maracaí: Markgraf, 2012.

MARTINS, E. **Descarregamento de cana tombador lateral hilo**. 2021. Disponível em: <<http://pimartins.weebly.com/recepccedilatildeo-e-preparo.html>>. Acesso em: 12 de Novembro de 2021.

PREÇO recebido pelo produtor - Etanol Hidratado Combustível. São Paulo: Observatório da Cana, 2020. Disponível em: <<https://observatoriodacana.com.br/preco-ao-produtor.php?idMn=42&tipoHistorico=7&acao=visualizar&idTabela=2487&produto=Etanol+hidratado+combust%C3%ADvel&frequencia=Semanal&estado=S%C3%A3o+Paulo>>. Acesso em: 05 de setembro de 2021.

RIBEIRO, T. C. **Cálculos de Dimensionamento para Triangulação e Regulagem de Moendas**. [S.l.]: UniRV – Universidade de Rio Verde, 2015.

RODRIGUES, C. D. **Preparo da cana-de-açúcar para extração de caldo em usina sucroenergética**. 2016. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/jaojaojaojao/08-preparocana>>. Acesso em: 29 de junho de 2021.

SILVA, N. G. J. **Fluxograma de Extração - Cana-de-Açúcar, Notas de estudo de Cultura**. Centro Universitário Cesmac (CESMAC), 2011. Disponível em: <<https://www.docsity.com/pt/fluxograma-de-extracao-cana-de-acucar/4829947/>>. Acesso em: 12 de Novembro de 2021.